

Определение величины сцепления базальтопластиковой арматуры с бетоном

Кустикова Ю.О.

Доцент жилищно-коммунального комплекса, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва); e-mail: yulia.kustikova@yandex.ru

Статья получена: 12.07.2020. Рассмотрена: 21.07.2020. Одобрена: 19.08.2020. Опубликовано онлайн: 30.09.2020. ©РИОР

Аннотация. Рассматриваются результаты экспериментальных исследований и испытаний бетонных конструкций с базальтопластиковой арматурой по определению несущей способности, а также механизм сцепления базальтопластиковых стержней с бетоном.

Ключевые слова: базальтопластиковая арматура, бетон, прочность, несущая способность, железобетонные конструкции.

1. Введение

По объему использования в различных областях строительства железобетон находится на одном из первых мест. Это определяется, прежде всего, его сравнительной дешевизной и долговечностью. Однако долговечность бетона существенно связана с долговечностью металлической арматуры.

Долговечность металлической арматуры зависит от коррозии, возникаемой под воздействием внешней агрессивной среды. В результате коррозии металлической арматуры и в некоторой степени и самого бетона происходит потеря несущей способности железобетонных конструкций и в целом зданий и сооружений.

Поиск альтернативных путей замены металлической арматуры в несущих железобетонных конструкциях на композитную, не подвергаю-

щуюся коррозии и одновременно имеющую высокую несущую способность, является актуальной научно-исследовательской задачей.

Известно, что композитные материалы минимизируют коррозию и другие силовые и средовые воздействия.

Особый интерес представляет собой высокопрочная неметаллическая арматура на основе базальтового волокна. Поисковые исследования и результаты испытаний на прочность, щелочестойкость, сцепление с бетоном (взамен металлической) показали высокую эффективность арматурных стержней на основе базальтового волокна при их эксплуатации в условиях воздействия агрессивных сред. Приведенные данные позволяют судить об эффективности работы этой арматуры.

Как известно, металлическая арматура не имеет полного сцепления с бетоном по всей контактируемой поверхности из-за образования водяных линз и пустот вокруг стержня при бетонировании, что отрицательно сказывается на трещиностойкости конструкций. Кроме того, из-за воздействия щелочной среды бетонной смеси и воды с момента контакта бетона с металлическим стержнем начинаются избирательные процессы коррозии. Это является одним из основных факторов, негативно влияющих на прочность железобетонных конструкций.

DETERMINATION OF THE AMOUNT OF ADHESION OF BASALT-PLASTIC REINFORCEMENT TO CONCRETE

Kustikova Yu.O.

Associate Professor, Housing and Communal Complex, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow; e-mail: yulia.kustikova@yandex.ru

Manuscript received: 12.07.2020. Revised: 21.07.2020. Accepted: 19.08.2020. Published online: 30.09.2020. ©RIOR

Abstract. The results of experimental studies and tests of concrete structures with basalt-plastic reinforcement to determine the load-bearing capacity, as well as the mechanism of adhesion of basalt-plastic rods to concrete are considered.

Keywords: basalt-plastic reinforcement, concrete, strength, load-bearing capacity, reinforced concrete structures.

В последние годы наряду с изучением, созданием и промышленным внедрением стержневой композитной арматуры аналогичные работы ведутся по созданию базальтопластиковой арматуры, которая по своим свойствам не только не уступает стеклопластиковой арматуре, но даже превосходит ее, а по стоимости является наиболее дешевой из всех видов перечисленных волокон. Работы по созданию базальтопластиковой арматуры и ее применению в железобетонных конструкциях перспективны по следующим факторам:

- запасы сырья для получения непрерывного базальтового волокна практически неограниченны, а само сырье относительно дешевое;
- технология получения базальтового волокна принципиально не отличается от технологии изготовления стеклянных волокон, при этом исключается операция по подготовке многокомпонентной шихты и превращению ее в расплав, а также отсутствует необходимость в формировании стеклянных шариков. Для выпуска ненапрягаемой базальтопластиковой арматуры могут быть использованы менее дефицитные, дешевые аппретирующие составы и связующие, что даст возможность снизить отпускные цены на арматуру.

2. Постановка задачи

Прочность сцепления арматуры с бетоном традиционно оценивают величиной касательного напряжения τ_k при выдергивании или вдавливании арматурных стержней.

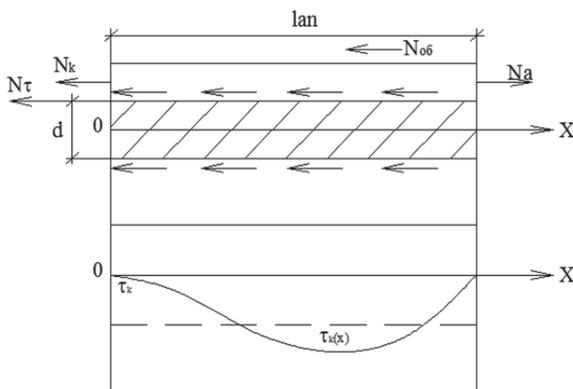


Рис. 1. Касательное напряжение τ_k при выдергивании или вдавливании арматурных стержней

Полагая известным распределением величины $\tau_k(x)$ вдоль стержня, находим создаваемое им общее касательное усилие:

$$N_\tau = \pi d \int_0^{lan} \tau_k(x) dx = \tau_k \pi d lan. \quad (1)$$

(по теореме о среднем)

Сила $N_a = A_s \sigma_s$ уравновешивается внутренним усилием

$$N_B = N_\tau + N_k + N_{об}, \quad (2)$$

где N_k и $N_{об}$ — усилия, создаваемые контактной зоной и бетонной оболочкой.

Согласно условию равновесия

$$A_s \sigma_s = \tau_k \pi d lan + N_k + N_{об}, \quad (3)$$

пренебрегая величинами N_k и $N_{об}$, получим расчетную формулу для оценки касательного напряжения

$$\tau_k = \frac{A_s \sigma_s}{\pi d lan}. \quad (4)$$

Согласно известному уравнению сцепления арматурного стержня с бетоном

$$\tau_k(x) = \frac{A_s E_s}{d_s} \cdot \frac{d^2 U_s(x)}{dx^2}, \quad (5)$$

где $U_s(x)$ — смещение стержня.

Выражая смещение $U_s(x)$ через $\tau_k(x)$, общую податливость B стержня, контактной зоны и бетонной оболочки, получим уравнение, описывающее напряженно-деформированное состояние (НДС) арматурного стержня:

$$\frac{A_s E_s}{d_s} \cdot \frac{d^2 U_s(x)}{dx^2} - \frac{1}{B} U_s(x) = 0; \quad (6)$$

$$\frac{d^2 U_s(x)}{dx^2} - m^2 U_s(x) = 0, \quad (7)$$

где $m = \sqrt{\frac{d_s}{A_s B E_s}}$ — параметр сцепления.

Общее решение уравнения (7)

$$U_s(x) = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}. \quad (8)$$

Константы C_1 и C_2 определяются с использованием граничных условий.

3. Результаты исследования

В результате исследования было выявлено, что величина сцепления этого типа арматуры с бетоном достаточно высокая (в два и более раз выше величины сцепления металлической арматуры).

Вследствие сложной внешней конфигурации базальтопластиковой арматуры сложен механизм высокой величины сцепления ее с бетоном.

Для теоретического осмысливания и обоснования этого процесса в дополнение к ранее проведенным исследованиям и испытаниям образцов бетона с арматурой на выдергивание необходимо изучить этот процесс с позиции механики разрушения. Ранние исследования показали, что модуль упругости стержней из базальтопластиковой арматуры $\left(E_{\text{стп}} \approx 2 \cdot 10^4 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2} \right)$ ниже модуля упругости бетона $\left(E_{\text{б}} \approx 2 \cdot 10^5 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2} \right)$, что позволяет ей легко деформироваться от усилий, возникающих при объемной усадке бетона, что приводит соответственно к увеличению величины сцепления [1; 2].

За счет усадки бетона возникают усадочные усилия на стенках арматуры, влекущие эффект увеличения сцепления от усадки бетонной оболочки.

Приращение $\Delta\tau_{\text{сц}}$ касательного напряжения задается формулой

$$\Delta\tau_{\text{сц}} = \frac{E_{\text{обж}} \cdot E_{\text{баз}} \cdot A_{\text{баз}}}{\pi d \cdot \text{lan}}, \quad (9)$$

где $\varepsilon_{\text{обж}}$ — относительная деформация обжатия бетона;

$E_{\text{баз}}$, $A_{\text{баз}}$, d — модуль упругости, нормальное сечение и диаметр базальтопластиковой арматуры;

lan — длина анкерки.

Экспериментальные исследования показывают, что при работе базальтопластиковой арматуры вначале подвергается растяжению до

определенных пределов оболочка арматуры, а в дальнейшем в работу вступают внутренние продольно расположенные нити [2; 3].

При работе арматуры в бетоне возникают поверхностные касательные напряжения τ_1 (н/м²) и касательные погонные усилия вдоль винтового подкрепления τ_2 (н/м) (рис. 2). Проектируя все силы на направление оси арматуры, получим следующее выражение:

$$N_{\text{б}} = 2\pi RH \cdot \tau_1 + 2\pi R n \sin\alpha \cdot \tau_2, \quad (10)$$

где n — число витков винтового подкрепления;

α — угол подъема винтовой линии;

H — глубина внедрения стержня в бетон.

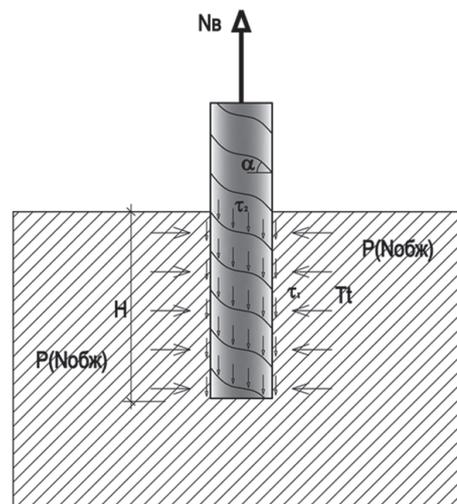


Рис. 2. Схема работы арматуры в бетоне

По результатам теоретико-экспериментальных исследований было доказано, что величина сцепления базальтопластиковой арматуры за счет неравномерной деформации поверхностного слоя (потери устойчивости оболочки) от объемной усадки бетона значительно увеличивается. Необходимо отметить, что в экспериментах на выдергивание стержней обнаружился эффект преднапряжения самой арматуры.

В результате применения в бетоне базальтопластиковых стержней повышается несущая способность бетонных конструкций и их трещиностойкость [1; 3; 4].

Литература

1. Кустикова Ю.О. Теоретические исследования по определению величины сцепления базальтопластиковой арматуры с бетоном [Текст] / Ю.О. Кустикова, В.И. Римшин // Сборник статей по материалам 7-й Международной научной конференции «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» (16–18 октября 2013 г., Воронеж). — Воронеж, 2013. — С. 18–26.
2. Кустикова Ю.О. Феноменологические исследования величины сцепления базальтопластиковой арматуры с бетоном [Текст] / Ю.О. Кустикова, В.И. Римшин // Известия ЮЗГУ. Серия «Техника и технологии». — 2011. — № 1. — С. 27–31.
3. Кустикова Ю.О. Напряженно-деформированное состояние базальтопластиковой арматуры в железобетонных конструкциях [Текст] / Ю.О. Кустикова, В.И. Римшин // Промышленное и гражданское строительство. — 2014. — № 6. — С. 6–9.
4. Korol' E., Tho V.D., Kustikova Y. Model of stressed-strained state of multi-layered reinforced concrete structure with the use of composite reinforcement // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 21, Construction — The Formation of Living Environment. 2018. P. 052033.

References

1. Kustikova Yu.O., Rimshin V.I. Teoreticheskie issledovaniya po opredeleniyu velichiny scepheniya bazal'toplastikovoy armatury s betonom [Theoretical studies to determine the value of adhesion of basalt-plastic reinforcement to concrete]. *Sbornik statej po materialam 7-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Mekhanika razrusheniya betona, zhelezobetona i drugih stroitel'nyh materialov» (16–18 oktyabrya 2013 g, Voronezh)* [Collection of articles based on the materials of the 7th International Scientific Conference “Fracture Mechanics of Concrete, Reinforced Concrete and Other Building Materials” (October 16–18, 2013, Voronezh)]. Pp. 18–26.
2. Kustikova Yu.O., Rimshin V.I., Fenomenologicheskie issledovaniya velichiny scepheniya bazal'toplastikovoy armatury s betonom [Phenomenological studies of the value of adhesion of basalt-plastic reinforcement with concrete]. *Izvestiya YuZGU, Kursk, Seriya Tekhnika i tekhnologii* [Izvestia YuZGU, Kursk, Series of Technics and Technology]. I. 1, 2011. Pp. 27–31.
3. Kustikova Yu.O., Rimshin V.I. Napryazhenno-deformirovanное состояние bazal'toplastikovoy armatury v zhelezobetonnyh konstrukciyah [Stress-strain state of basalt-plastic reinforcement in reinforced concrete structures]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2014, I. 6. Pp. 6–9.
4. Korol' E., Tho V.D., Kustikova Y. Model of stressed-strained state of multi-layered reinforced concrete structure with the use of composite reinforcement. V sbornike: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 21, Construction — The Formation of Living Environment. 2018. S. 052033.